

港湾技研資料

TECHNICAL NOTE OF
PORT AND HARBOUR TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORTATION, JAPAN

No. 7 March, 1964

ガラス破片を粗骨材としたプレバッド・

コンクリートについて 赤塚 雄三 森口 拓

混和剤がコンクリートの圧縮強度、乾燥収縮

および亀裂傾向におよぼす影響について 赤塚 雄三

昭和 39 年 3 月

運輸省港湾技術研究所

目 次

ガラス破片を粗骨材としたプレパックド・コンクリートについて

§1 概 要	1
§2 実験の目的	2
§3 使用材料	3
§4 試験方法	4
§5 試験結果およびその考察	5
§6 処分方法の提案(結論)	9

混和剤がコンクリートの圧縮強度、乾燥収縮および亀裂傾向におよぼす影響について

まえがき	10
§1 概 要	12
§2 コンクリート材料および配合	12
2.1 セメント	12
2.2 骨 材	12
2.3 混 和 剤	13
2.4 コンクリートの配合	13
§3 供試体の製作ならびに測定	13
3.1 コンクリートの練り混ぜ方法	13
3.2 供試体の形状	14
3.3 供試体の製作	15
3.4 測 定	15
§4 試験結果と考察	16
4.1 用いた混和剤の減水効果	16
4.2 混和剤の使用がコンクリートの圧縮強度におよぼす影響	16
4.3 混和剤の使用がコンクリートの乾燥収縮におよぼす影響	17
4.4 混和剤の使用がコンクリートの亀裂傾向におよぼす影響	19
§5 結 論	19
参考文献	20

ガラス破片を粗骨材としたプレパックド・ コンクリートについて

—放射性廃棄物としてのガラス器具などの処分の一方法—

赤 塚 雄 三*
森 口 拓*

Prepacked Concrete Containing Crushed Glass as Coarse Aggregate for Disposal of Glass Instruments and Vessels Contaminated with Radioactive Wastes

By Yuzo Akatsuka, B. Sc., M. Sc.*

Hiraku Moriguchi, B. Sc.*

This investigation was performed as a part of "Study on Containing Radioactive Wastes", which was a part of the extensive studies of concrete containers for the disposal of radioactive wastes in the deep sea sponsored by the Committee on Concrete of Japan Civil Engineers Society.

The purpose of this investigation was to study the properties of prepacked concrete using crushed glass as coarse aggregate. Tests were made on penetrability of intrusion mortar into the voids of the specific aggregate, and compressive and flexural strengths and impact resistivity of the concrete. The authors conclude that the penetrability of intrusion mortar was fairly good to bind the smashed glass instruments to form a unit mass of prepacked concrete, and that the strengths of the prepacked concrete were sufficient so as required in handling, shipping, and transporting it. The authors also suggest two means of disposing glass instruments and vessels contaminated with radioactive wastes. The first is to use them as coarse aggregate after crushing and enclose them within concrete. In this case the glass should not be crushed into too small pieces, which would make the intrusion mortar impenetrable. The other is to pack the pieces of finely smashed glass in baskets, made with fine mesh screen and reinforced with steel bars, and employ these baskets as coarse aggregate for prepacked concrete. In either case, prefabricated concrete container can be effectively used as a form work.

§1 概 要

最近原子力の開発利用が進み産業界への利用も目ざましく、原子力発電や原子力船などの動力としての利用、また放射性同位元素の各方面への利用などが盛んである。このような原子力の利用に伴い生成される放射性廃棄物も、年と共に増加の一途をたどっている。このような原子力産業の急激な発展に即応して、その廃棄物に対す

*構造部材料施工研究室

*Research Engineer, Materials Laboratory, Soil and Structure Division

る適切な処置を講じ、生活環境の放射能汚染を防止して人体を放射線から防護するように努めることが必要であり、この廃棄物をいかに安全に処理処分するかということは世界各国共通の重要課題である。

放射性廃棄物には気体、液体、固体の3種があり、これは原子力施設の原料処理工場、原子炉冷却水、燃料再処理工場、原子力船、放射性同位元素使用の研究所や病院などから生ずるのである。この放射性廃棄物は大別して2種の方法、すなわち“(1)放射性廃棄物を人類に害のないと考えられる程度まで十分に希釈する。(2)放射性物質を濃縮して人間の関与する環境から隔離する”。により処分され管理される。わが国においては、原子力規制法と放射線障害防止法とがあって、気体、液体については放出許容濃度(10⁻⁸μc/ml)が決められており、規制が行なわれている。そして現在、日本放射性同位元素協会が、放射性廃棄物の処理および処分を経済的かつ安全確実に行なうための一括処理機関として、放射性廃棄物処理事業の業務を開始しその集荷および貯蔵を行なっている。

放射性廃棄物の最終処分の形式として、現行の法律による規制では陸地保管と海洋投棄処分とがある。原子力平和利用の急速な発展に対処するには海洋投棄が適し、これには、投棄物1個として比重1.2以上とし、投棄する海洋の深さは2,000メートル以上の個所であること、また容器は投棄後において破損、浸水、腐食に耐えるものであることなどが要求されている。

放射性廃棄物処理の問題は、現在技術的には一応解決されているが、経済的な面からみるとまだまだ残された点が多いように思われる。それで、廃棄物の処分に際しても、いかに処分効率を高めるかが大きな問題であって、処分費を節約し得るような処分方法を目的として更に処理方法を再検討する必要があるのが普通である。ここでは放射性廃棄物としてガラス器具類を取り上げ、この処分方法として次のような方法を提案するものである。プレキャスト・コンクリート容器を型枠とし、プレバックド・コンクリート工法における粗骨材としてガラス破片を使用するものである。この場合、ガラス破片間の空げきを注入モルタルで十分に満たすことが望まれるので、ガラス破片を非常に細かく破碎して扁平なものとするのは好ましくなく、従って処分効率がこの点で低下されると考えられる。そこで、この点を改善する目的でガラス器具類を細かく破碎し、これを、周囲を鉄筋で補強した金網かごの中に詰め込み、この金網かご全体を一個の骨材と考えて注入モルタルで封入しようとするものである。

本文は、放射性廃棄物としてのガラス器具などを粗骨材とした場合のプレバックド・コンクリートについて、運輸省港湾技術研究所において行なった試験結果を取りまとめたものである。

S2 実験の目的

放射性廃棄物としてのガラス器具などを、前述のような方法で処分しようとする場合の問題点は、

- (1) モルタルのガラス破片間げきへの填充性
- (2) 成形されたコンクリート体の荷役運搬上必要な強度の有無

に限定されると考えられる。

本実験では以上の2点について確認する事を目的として、次のような諸試験を行なった。

- (1) ガラス破片を粗骨材としたプレバックド・コンクリートの圧縮強度およびガラス破片を金網かごに詰め込み、これをモルタルで封入した場合の供試体による曲げ強度試験
 - (2) 強度試験供試体の切断面におけるモルタルの填充状況の観察
 - (3) 曲げ試験に使用した供試本を用いて、これに衝撃を与えた場合の破碎状況の観察。
- (3)は、特にクレーンなどによる荷役操作を想定し、この操作中において特に大きな衝撃が加えられた場合における安全性を確認するための試みである。

§3 使用材料

セメントは、小野田セメントKK田原工場製の普通ポルトランドセメントを用いた。その諸性質は、表-3・1に示す通りである。

表-3・1 セメントの諸性質

比重	粉末度		凝 結		安定性 浸水法	フロー (mm)	曲げ強度 (kg/cm ²)		圧縮強度 (kg/cm ²)	
	ブレン (cm ² /g)	88 μ (%)	始 発 (時-分)	終 結 (時-分)			7日	28日	7日	28日
	3.15	3,150	1.2	2-50	5-40	良	222	42.0	55.3	215

ボゾランは、宇部興産KK宇部窒素工場製の宇部ボゾランを用いた。その諸性質は、表-3・2に示す通りである。

表-3・2 ボゾランの諸性質

比 重	粉 末 度		単 位 水 量 比 (%)	圧縮強度比(%)	
	ブレン (cm ² /g)	44 μ (%)		28日	91日
2.10	3,150	11.1	94	71	92

砂は、神奈川県鶴沼海岸産の海浜砂で、その比重は2.53、吸水量は3.54%、粒度は表-3・3に示す通りである。砂の使用にあたっては、湿潤状態で貯蔵したものを表面水量を測定してこれを用いた。

表-3・3 用いた砂の粒度

ふるいの呼び寸法(mm)	各ふるいを通る量の重量百分率 (%)
2.5	100
1.2	93
0.6	70
0.3	44
0.15	7
粗 粒 率	1.86

界面活性剤としては、セメント分散剤ボゾリス No.8 を用いた。

発泡剤は、福田金属箔粉工業KK製のアルミニウム粉末AA12で、その形状はりん片状で平均粒径は25 μ である。

ガラス破片は、ビーカ(容量200, 250, 300, 500, 1,000cc)、メスシリンダ(容量10, 25, 50, 250, 500, 1,000cc)、三角フラスコ(容量500cc)、磁製皿、時計皿、試薬びんなどを破砕したもので、最大長さ寸法は16cm、最小長さ寸法は1cm程度のもので、最大長さ平均、最小長さ平均はそれぞれ7cmおよび3cmである。またこれらの破片を $\phi 15 \times 30$ cm円柱形型枠にこれを充填した場合の空げき率は、69%程度であった。

比較試験のため粗骨材として砂利も用いたが、これは神奈川県酒匂川産のもので、その比重は2.78、吸水量は2.16%で、その寸法は20-30mmであり、また $\phi 15 \times 30$ cm円柱形型枠にこれを充填した場合の空げき率は43%程度であった。

§4 試験方法

(1) 注入モルタル

注入モルタルの配合はフライアッシュ混和率 (F/C+F) 0.25, 砂セメント比 (S/C+F) 1.00, ポズリス率 (P_{ozz}/C+F) 0.0025, アルミニウム率 (Al/C+F) 0.00015, 流出時間18±2秒, 水セメント比 (W/C+F) は流出時間が上記値になるように水量を調和したものである。

上記配合のモルタルを1バッチの量を230ℓとして、モルタルミキサ(容量260ℓ ヤマトボーリングKK製)を使用して10分間練り混ぜた。

練り混ぜ終了後直ちに流動性試験を行なった後、モルタルおよびコンクリートの各試験用供試体を製作した。

(2) 強度試験

モルタル強度試験供試体は、φ5×10cmの円柱形を使用した。直径5cm、高さ10cmの円柱形型枠に、モルタルを型枠の頂面より僅かに盛りあがる程度まで注ぎ込み、型枠の側面を木づちで軽くたたいてモルタルの型枠内行き渡りを十分にした。そして、上面をガラス板で押しつけその上に重量約3kgの錘を置き、温度29°C、湿度42%の実験室内に1日放置した後脱型し、温度21±2°C、湿度100%の噴霧養生室で養生を行なった。材令7日、14日および28日において20トン圧縮試験機を用いて圧縮強度試験を行なった。

コンクリート強度試験供試体は、φ15×30cmの円柱形を用いた。直径15cm、高さ30cmの円柱形の注入用型枠に、前述のガラス破片を注ぐようにして詰め、型枠を前後左右に動かしてその填充を十分にした後、これにモルタルを注入した。使用したモルタルポンプは、英国モノポンプ社製モノポンプD32である。供試体は、これを温度29°C、湿度42%の実験室内に1日放置した後脱型し、温度21±2°C、湿度100%の噴霧養生室で養生した。砂利を粗骨材としたものは、砂利を3層に分けて詰め、各層は突き棒で25回均等に突き固めた。ガラス・コンクリート* 供試体は材令7日、14日および28日において、砂利・コンクリート* 供試体は材令28日において、200トン圧縮試験機を用いてそれぞれの圧縮強度試験を行なった。

曲げ試験については、供試体は30×30×90cmの角柱形を使用した。図-4・1に示すような直径6mmの鉄

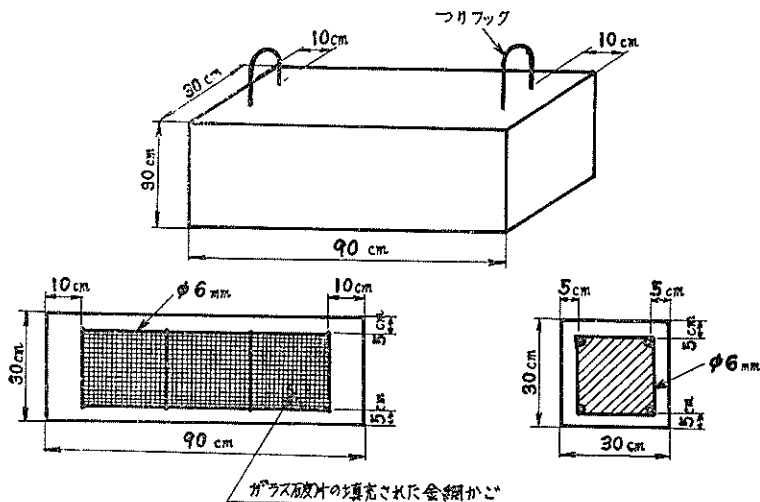


図-4・1 曲げおよび衝撃試験供試体

*ガラス・コンクリートおよび砂利・コンクリートとは、それぞれガラスおよび砂利を粗骨材としたコンクリートを表わし、以下記述を簡単にするためにこのように表現する。

筋を用いて 20×20×70cm の枠を作り、その周囲に寸法 3mm の金網を張り、これをガラス破片で満たした後 30×30×90cm 角柱形型枠の中央に設置した。次にモルタルポンプを使用して型枠内にモルタルを注入し、型枠の周囲を木づちで軽くたたいてモルタルの行き渡りを十分にし、上面は木の板でこれをおおった。温度 29°C、湿度42%の実験室内に1日放置した後脱型し、温度 21±2°C、湿度100%の噴霧養生室で養生し、材令28日において一点集中荷重によって曲げ試験を行ない(図-4・2 参照)、ひび割れ発生荷重を求めた。

なお、キャッピングは石こうを用いてこれを行なった。

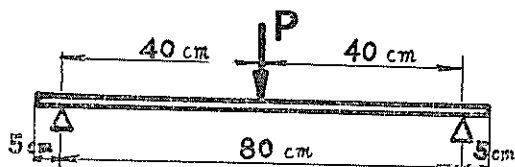


図-4・2 曲げ試験

(3) モルタルの填充性の観察

注入モルタルの粗骨材間の填充性の程度を確認することを目的として行なったものである。円柱形コンクリート供試体の各材令における圧縮強度試験を行なったもののうちの1本を選択し、これをコンクリートカッタ(日本切断機製作K.K.製)を用いて直径を含む軸方向の平面で切断し、モルタルの粗骨材間げきへの浸透状況を観察した。

(4) 衝撃試験

曲げ試験に用いた供試体を、曲げ試験終了後実験室内に放置し、材令35日においてクレーントラックを用いて、これを所定の高さよりコンクリート床の上に落下させ、その耐衝撃性を試験した。衝撃試験は2回継続して行ない、第1回は落下高さを 3.85m、第2回は 4.85m とした。

§5 試験結果およびその考察

(1) 強度試験

注入モルタルおよびガラス・コンクリートの材令7日、14日および28日における圧縮強度、砂利・コンクリートの材令28日における圧縮強度の試験結果は、表-5・1に示す通りである。

表-5・1 強度試験結果(3個の平均値)

配 合 (%)					流 出 時 間 (秒)	モルタル(φ5×10cm)			コンクリート(φ15×30cm)			
フライアッシュ混和率 F/C+F	砂セメント比 S/C+F	ポゾリス率 P _{ozz} /C+F	アルミニウム率 Al/C+F	水セメント比 W/C+F		圧縮強度(kg/cm ²)			圧縮強度(kg/cm ²)			
						7日	14日	28日	ガ ラ ス*		砂利**	
					7日	14日	28日	7日	14日	28日	28日	
25	100	0.25	0.015	44.7	17.8	167	193	305	84	107	126	185

*ガラス・コンクリート

**砂利・コンクリート、2個の平均値

なお、コンクリートの単位容積重量は、ガラス・コンクリートおよび砂利・コンクリートについて、それぞれ 2078kg/m³ および 2408kg/m³ であった。

表-5・1から次のような事が認められる。材令28日におけるガラス・コンクリートの圧縮強度は砂利・コンク

リートのその約68%であるが、これは粗骨材自体の強度および粗骨材とモルタルの付着強度の差によるものと思われる。

上述のように、ガラス・コンクリートの圧縮強度は砂利・コンクリートのそれに比べてかなり低い、その絶対値は材令28日において 126kg/cm^2 であり、荷役作業に際して必要とされる強度には十分のものと考えられる。

次に曲げ試験については、ひび割れ発生荷重は 9.94 トンであった。そのひび割れ状態は図-5・1に示す通りである。ひび割れの状態は、金網かごの補強に使用した鉄筋がかなり有効に作用した事を示しており、本供試体

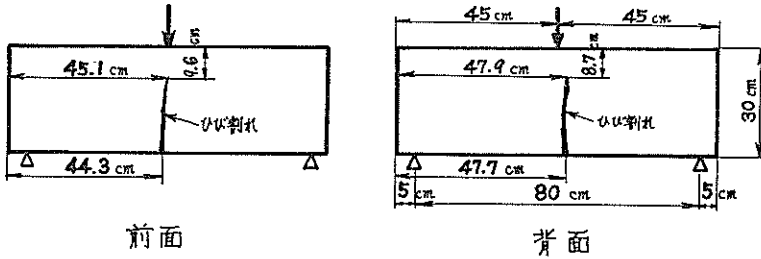


図-5・1 曲げ試験におけるひび割れ状態

を鉄筋で補強されたモルタルばり部材と考え、ひび割れ発生時の曲げ引張応力 σ_t を計算すると次のようになる。この場合、鉄筋およびモルタルのヤング係数をそれぞれ $E_s=2,100,000\text{kg/cm}^2$ および $E_m=140,000\text{kg/cm}^2$ ($n=E_s/E_m=15$) と仮定する。

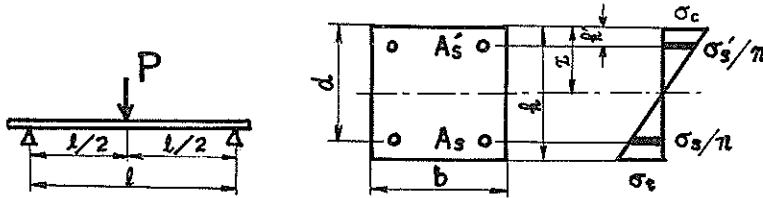


図-5・2 曲げ試験

$$P=9,940\text{kg} \text{ (ひび割れ発生荷重)}$$

$$l=80\text{cm}, d=25\text{cm}, b=30\text{cm},$$

$$h=30\text{cm}, h'=5\text{cm}, n=15,$$

$$A_s=A'_s=2\phi 6=0.56\text{cm}^2$$

$$M=\frac{Pl}{4}=\frac{9940 \times 80}{4}=198800\text{kg}\cdot\text{cm}$$

$$x=\frac{\frac{1}{2}bd^2+n(A_s h+A'_s h')}{bd+n(A_s+A'_s)}=\frac{\frac{1}{2} \times 30 \times 25^2+15(0.56 \times 30+0.56 \times 5)}{30 \times 25+15(0.56+0.56)}=12.6\text{cm}$$

$$I_i=\frac{b}{3}[x^3+(d-x)^3]+nA_s(h-x)^2+nA'_s(x-h')^2$$

$$=\frac{30}{3}[12.6^3+(25-12.6)^3]+15 \times 0.56(30-12.6)^2+15 \times 0.56(12.6-5)^2=42098\text{cm}^4$$

$$\therefore \sigma_t=\frac{M}{I_i}(d-x)=\frac{198800}{42098}(25-12.6)=59\text{kg/cm}^2$$

モルタルの28日圧縮強度は 305kg/cm^2 であるから、モルタルの曲げ引張強度 σ_b を
 曲げ引張強度 \approx 圧縮強度 $\times (0.11 \sim 0.23)$

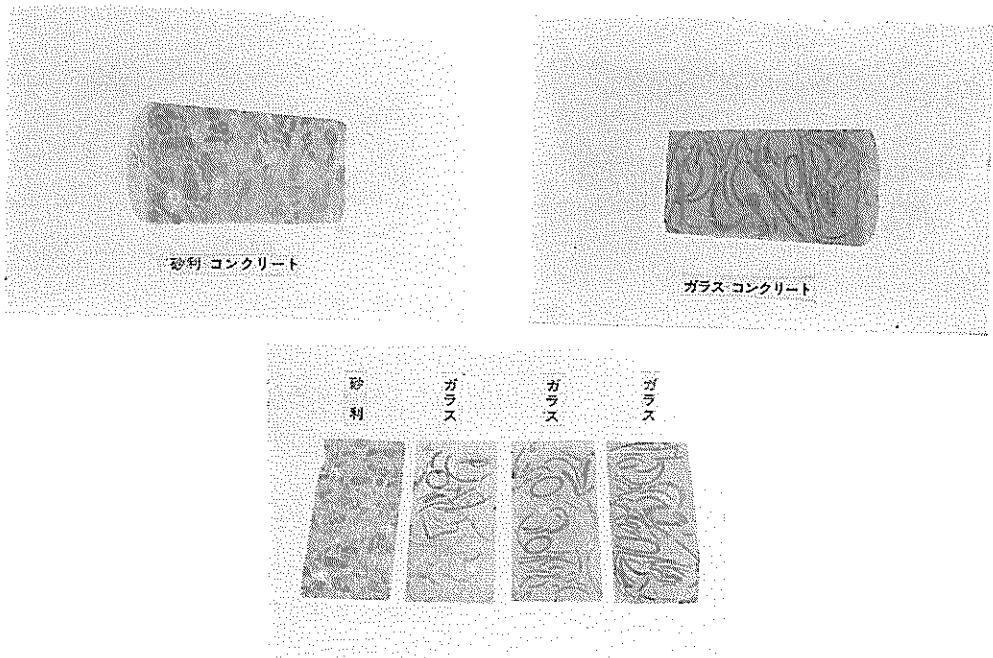
と仮定すると

$$\sigma_0 = 305 \times (0.11 \sim 0.23) = 34 \sim 70 \text{ kg/cm}^2, \text{ 平均 } 52 \text{ kg/cm}^2 \text{ となる,}$$

従って、本供試体を鉄筋で補強されたモルタルばり部材と仮定して計算したひび割れ発生時の曲げ引張応力 59 kg/cm^2 は、上記モルタルの推定曲げ引張強度 $34 \sim 70 \text{ kg/cm}^2$ に近似しており、本供試体を鉄筋で補強されたモルタルばり部材と仮定した事に大きな誤りはないものと考えられる。

(2) モルタルの填充性

圧縮強度試験に使用した $\phi 15 \times 30 \text{ cm}$ 円柱形コンクリート供試本を、中心軸を含む断面で切断し、注入モルタルの填充状態を観察した。図—5・3は、ガラス・コンクリートおよび砂利・コンクリートの切断面を示す。



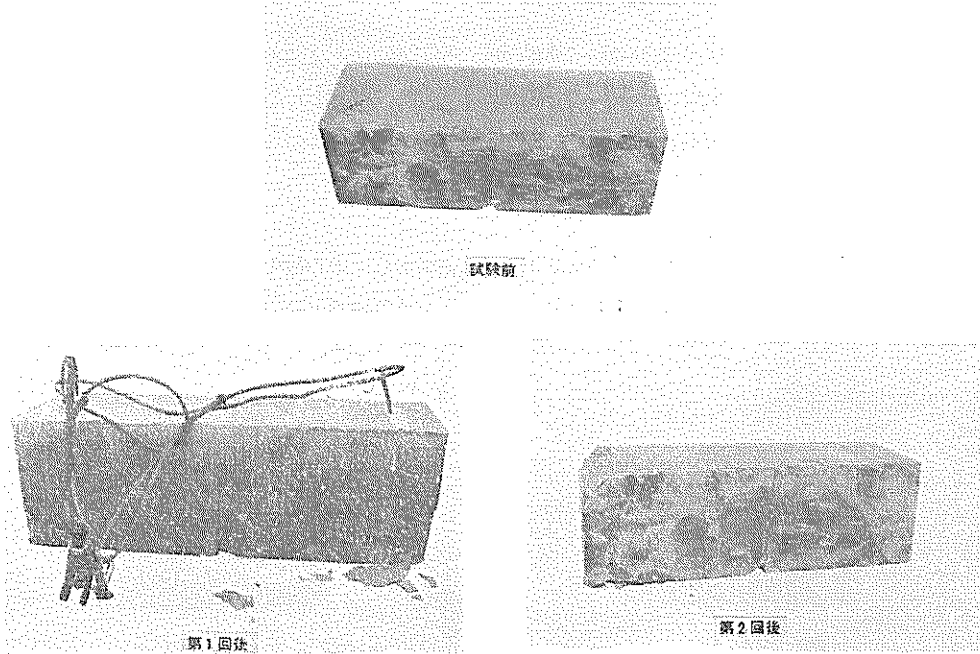
図—5・3 モルタルの填充性の試験結果

これらの図から容易に観察されるように、注入モルタルのガラス破片間への行き渡りは、ガラス破片形状の複雑な個所で多少不十分であるところもあるが、概して良好であり、注入モルタルのガラス破片間げきの填充性は、その空げき率が本実験に使用したものと同程度である場合には、良好であると判断して良いと考えられる。

(3) 衝撃試験

前述の曲げ試験に用いた $30 \times 30 \times 90 \text{ cm}$ 角柱形鉄筋ガラス・コンクリート供試体を、ある高さよりコンクリート床上に自由落下させて、このときの衝撃による破壊状況を観察した。これは、荷役作業中に何らかの理由でコンクリート体に強力な衝撃が加えられた場合の安全性を確認するための試みである。

供試体を高さ 3.85 m の所から落下させた場合はほとんど破損は見られず、ただ曲げ試験において発生したひび割れの幅と深さが多少増大したのみである。同じ供試体を更に高さ 4.85 m のところにつりあげて再び落下させた場合、ひび割れの幅と深さが更に増大し、またかどの一部が破損した。その状況は、図—5・4に示す通りである。



図—5・4 衝撃試験結果

なお、衝撃計算は以下の通りである。



図—5・5 衝撃試験

落下高さ

第1回 3.85m

第2回 4.85m

コンクリート床

厚さ 15cm

コンクリート床の下は土丹層である。

(i) 高さ 3.85m の場合

接地速度 $v=8.69\text{m/sec}$

$m=194.4\text{kg}$

$$mv = \int_0^{\tau} F \cdot dt = F \cdot \tau$$

$$194.4 \times 8.69 = F \cdot \tau$$

$\tau=0.1\text{sec}$ と仮定すると

$$F=16.890\text{ton}$$

(ii) 高さ 4.85m の場合

接地速度 $v=9.75\text{m/sec}$

$m=194.4\text{kg}$

$$mv = F \cdot \tau$$

$$194.4 \times 9.75 = F \cdot \tau$$

$\tau=0.1\text{sec}$ と仮定すると

$$F=18.950\text{ton}$$

すなわち、接地に要した時間を 0.1 秒程度と仮定すると、17～19トンの衝撃が作用した事になる。これはひび割れ荷重の約 2 倍であり、局部的には更に大きな荷重が働いたものと思われる。試験結果は図—5・4に観察されるように、供試体はほとんど崩壊せず、また破片が飛散する事もきわめて少く、耐衝撃性は良好であると判断してよい。

更に金網かごに満たしたガラス破片の注入モルタルによる

封入性を確認するために、衝撃試験終了後供試体をひび割れ部分で2つに切断し、その断面を観察した。その状況は、図—5・6に示す通りである。



図—5・6 鉄筋ガラス・コンクリート供試体の切断面

図—5・6からわかるように、金網かご内のガラス間げきにはモルタルがほぼ完全に行き渡っており、本供試体を鉄筋で補強されたモルタル部材と仮定した事の正当性を裏づけている。そして、これはまた、ガラス器具類の処分効率を大きくするために、ガラス破片を更に細かく破砕しても良い事を示唆するものと考えられる。

§6 処分方法の提案（結論）

本実験結果に基づき、放射性廃棄物としてのガラス器具類を処分する方法として、以下の2方法を提案する。

その1は、ガラス器具類を適当な大きさに破砕してこれをプレキャストコンクリートを型枠としたプレバックド・コンクリートの粗骨材として使用し、コンクリートに封入するものである。この場合、モルタルのガラス破片間げきへの行き渡りも良好で、ガラス破片を粗骨材としたコンクリート自体の強度も十分期待できる。本実験における型枠内でのガラス破片の空げき率は69%程度でやや過大であるが、その処分効率を高めるために、この空げき率を更に減少させても良いものと思われる。

第2の方法として、ガラス器具類の処分効率を高めるために、上記第1の方法におけるよりも更にガラス器具類を細かく破砕し、これを鉄筋で補強した金網かごに詰め、この金網かご全体を1個の粗骨材と考えて、プレバックド・コンクリート内に封入することがあげられる。本実験においては、注入モルタルが金網かご内のガラス破片間げきにかなり良好に填充されており、金網かごの補強に使用した鉄筋は、部材の補強材としてその役割を十分に果たしている。また、ガラス器具類を更に細かく破砕しても良いものと考えられる。

なお、以上のような方法でガラス破片を封入したコンクリート体は、荷役運搬上予想される程度の衝撃に対して、十分な抵抗性を有しているものと判断される。